

은수원사시나무 造林地の 生産構造와 生産性*1

金俊鎬*2 · 宣順和*3 · 李錫求*3 · 金鼎錫*3

Studies on the Productive Structure and the Productivity of \times *Populus albaglandulosa* Plantation*1

Joon Ho Kim*2 · Soon Hwa Sun*3 · Suk Koo Lee*3 · Chung Suk Kim*3

The productive structure and the productivity of \times *Populus albaglandulosa* plantations, where are middle parts of the Korean peninsula, were studied by means of stratifying clip technique and of allometry. The densities of stands in the sample areas were 693 trees/ha in 6 year-old plantation and 527 or 625 trees/ha in 9 year-old one. The photosynthetic part of the productive structure was not shown normal conical form but layering. So this was efficient to transmit solar radiation into the stand floor. The standing crop of the terrestrial parts of 6 year-old plantation was 18.11 ton/ha and that of 9 year-old one 38.8 to 47.3 ton/ha. The wood volume to trunk to 6 year-old was 31.3m³/ha and that of 9 year-old was 68.8 to 83.9m³/ha. The annual net production of 6 year-old plantation was 4.8 ton/ha/year and that of 9 year-old one was 10.0 to 11.7 ton/ha/year and its wood volume of trunks was 17.9 to 21.1m³/ha/year. In the 9 year-old plantation the standing crop or the annual net production was different between two sample areas. This seemed that the cause was not due to chemical character but to physical character of soil.

은수원사시나무($\times P. albaglandulosa$)造林地에서 林分密度가 693本/ha의 6年生, 625本 또는 527本/ha의 9年生의 林分에 대하여 相對生長法으로 現存量과 生産性を 推定하고 生産構造를 分析하였다.

1. 生産構造圖의 光合成部는 層을 形成하여 光線의 透入에 効果的인 特徵을 나타내었다.
2. 地上部 現存量은 6年生이 18.11 ton/ha, 9年生이 38.8~47.3ton/ha이며, 幹材積은 6年生이 31.3 m³/ha, 9年生이 68.8~83.9m³/ha 이었다.
3. 年純生産量은 6年生에서 4.8 ton/ha/yr, 9年生에서 10.0~11.7ton/ha/yr를 얻었고, 幹材積의 純生産量은 17.9~21.1m³/ha/yr로 나타났다.
4. 9年生의 標準地에서 現存量 및 純生産量에 差異가 생기는 理由는 土壤의 化學成分에 의하지 않고 物理的 性質에 起因하는 것으로 思料되었다.

結 論

綠色植物이 太陽에너지를 利用하여 有機物을 生産하는데 對한 研究는 生産生態學의 한 課題이다. 森林生

態系는 다른 生態系에 比하여 有機物의 蓄積量이 數十 또는 數百倍나 많은 事實이 알려졌다(Yoda²¹). 從來 林業에서는 林木의 胸高直徑을 測定하여 樹幹의 材積을 間接的으로 推定하는 研究가 많이 이루어졌다. 그런데 森林을 하나의 total system으로서의 有機系라는

*1 1977年 8月接受 Received for Publication on August 10, 1977

*2 서울대학교 自然科學大學 植物學科 Dept. of Botany, College of Natural Sciences, Seoul Natl. Univ.

*3 林木育種研究所 Institute of Forest Genetics, Suweon, Korea

立場에서 볼 때 樹幹의 生長은 葉量 및 枝量과 密接한 關係가 있다. 즉 葉은 生産器官이며 幹, 枝, 根은 계속되는 呼吸으로 인한 消費器官이다. 따라서 葉量이 많으면 많은 生産을 할 수 있지만 그들이 密集해 있으면 相互被陰이 되어 受光量이 낮아져서 오히려 生産量이 低下될 것이다. 葉의 空間分布를 左右하는 것은 枝의 開張度와 그 垂直分布이다. 한편 消費器官으로서의 幹量: 枝量 또는 根量의 關係는 相對的이어서 葉에서 光合成한 有機物의 各器官으로의 分配나 呼吸에 의한 消失이 어느 한 器官에서 많으면 다른 器官에서는 적어진다. 따라서 森林은 幹量뿐만 아니라 枝, 葉 및 根을 함께 파악하는 일이 바람직하다.

일찍기 Kittridge⁹⁾가 林木의 한 部分의 量(x)과 다른 部分의 量(y) 사이에는 相對生長(allometry)의 關係가 있는 사실을 밝혔다. 즉 單木의 2部分의 量 X, W 사이에는 다음과 같은 近似式이 성립된다.

$$W = AX^h \dots\dots\dots(1)$$

양변을 log로 바꾸면

$$\log W = h \log X + \log A \dots\dots\dots(1')$$

여기에서 A, h는 X, W의 組合 및 그밖의 要因에 의하여 결정되는 常數이며 특히 h를 相對生長係數라 한다(Shidei¹⁰⁾, Hozumi¹¹⁾). Shidei¹⁰⁾와 Hozumi¹¹⁾는 X 대신에 林木의 胸高直徑(D)와 樹高(H)에서 誘導한 D²H를, W 대신에 幹, 枝, 葉, 根 등 各器官의 重量을 式 (1) 또는 (1')에 代入하여 森林의 現存量과 純生産量을 推定하는 일을 發展시켜왔고 Madgwick and Satoo¹⁰⁾는 그들의 일을 수정하고 있다.

本 研究에서는 相對生長法을 利用하여 韓國에서 1968년부터 널리 植栽하고 있는 은수원사시나무(*Populus albaglandulosa*)의 現存量과 生産性を 推定하였다. 은수원사시나무는 은백양(*P. alba*)과 수원사시나무(*P. glandulosa*)의 人工交配雜種으로서 兩親樹보다 雜種強勢를 나타내어서 生長이 빠르고 山地에 適合한 特性을 지니고 있다(孫 및 趙¹²⁾, 孫 및 鄭¹⁷⁾).

한편 林木의 葉의 垂直分布는 葉의 受光量과 關係하여 그 生産量에 크게 影響을 미친다(Monsi and Saeki, 11). 이것을 造林地에서 林木密度의 調節, 枝打의 程度에도 情報를 提供하여 줄 것이므로 은수원사시나무의 生産構造圖를 作成하여 葉의 垂直分布에 대한 資料를 얻었다. 이밖에 은수원사시나무에 대한 몇가지 基礎資料를 얻었으므로 綜合하여 여기에 發表한다.

이 研究가 이루어지는데 調査地은 꽤히 提供해 준 靑丘木材工業株式會社와 調査地의 土壤成分分析을 맡아준 서울大 大學院 植物學科 文炯泰君에게 깊이 謝意

를 表한다.

調査地 概況

이 研究는 韓國中部에 위치한 京畿道 抱川郡 永中面 成洞四里 觀音山麓(北緯 38°01')에 있는 靑丘木材會社의 造林地에서 이루어졌다. 調査地는 標高 400~500m이며 東南向이었다. 調査地는 林況이 다른 3個의 地所 P-1, P-2 및 P-3를 設置하였다. P-1地所는 標高가 가장 낮은 곳이며 造林하기 전에 山地이었고 傾斜는 약 20~30°이며 1971年 봄에 0/1插木苗을 平均栽植距離 3.8×3.8m로 植栽하여 現存本數가 693本/ha인 6年生 林地이었다. P-2地所는 P-1보다 標高 100m上部에 位置하며 植樹전에 火田民村落跡을 포함한 火田이었고 傾斜는 30~40°, 土深은 대단히 깊었으며 栽植距離 4.5×3.7m로서 現在林木密度는 527本/ha이었다. P-3地所는 P-2地所보다 標高 50m 밑쪽에 위치하며 傾斜는 20~30°, 栽植距離 4.0×4.0m로서 林木密度는 625本/ha이었다. P-2와 P-3地所는 1968년 봄에 0/1插木苗을 심은 것으로 9年生 林地이었다. 이 調査地所의 林木은 조식할 때까지 1년에 1회의 輕枝打 하였을 뿐 間伐은 하지 않았다.

각 調査地所의 土壤의 特性은 Fig. 1에서처럼 total-N은 P-3地所에서 많았고, 有效P와 有機物은 P-2 및 P-3地所에서, 水分含量은 P-1, P-3, P-2의 順으로 적었고, pH는 3개 地所가 거의 같았다.

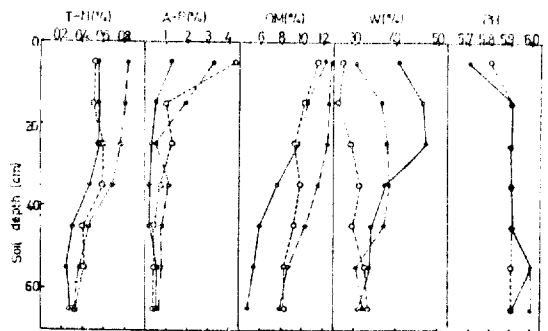


Fig. 1. Total nitrogen(T-N), available phosphorus (A-P), organic matter (O.M.), water content (W) and pH of the soil. small closed circle and real line stands for P-1, large open circle and dotted line for P-2 and small open circle and chain line for P-3 plot.

材料 및 方法

은수원사시나무(*Populus albaglandulosa*) 造林地에

3個 調査地所를 定하고 20×20m의 永久方形區를 설정하여 各 林木의 番號와 胸高部位(1.3m높이)를 白色케 인트로 표시하고 1976년 10월에 胸高直徑을 調査하였다. 胸高直徑이 最大에서 最小까지의 범위에 걸쳐 全直徑階가 고루 分布 되도록하여 標準地所의 隣接地에서 13本の 標準木을 골라 伐木하였다. 伐木한 標準木은 樹高와 胸高直徑을 기록한 후 0, 1.3, 3.3, 5.3, ...의 토막으로 끊고, 다시 各 토막에 붙은 枝와 葉을 分離하여 各 各 生重量을 秤量 하였다. 한편 幹의 토막 하단에서 약 2cm 두께로 매넨 丹板과 枝와 葉의 一部를 vinyl주머니에 넣어 실험실에 운반 하고 生重量을 측정한 후 약 80°C의 oven에서 恒量이 될 때까지 3~7일간 말려서 乾重量을 재고 實質率을 求하는 factor를 얻었다. 胸高에서 매 圓板은 4方向으로 年輪幅을 측정하여 1年間의 肥大生長에 따른 胸高直徑의 年平均生長을 얻었다. 伐木한 標準木의 胸高直徑(D)과 樹高(H)와의 관계에서 標準地內의 林木의 樹高를 推定하였다. 한편 標準木의 D²H, 幹重(Ws), 枝重(Wb) 및 葉重(Wl)의 값을 對數值로 바꾼 후 log D²H~log Ws, ~log Wb 및 ~log Wl와의 關係를 最少自乘法으로 처리하여 相對生長式을 구하였다. 한편 D²H~Ws, ~Wb 및 ~Wl의 關係를 兩對數方眼紙에 plot하여 그 直線性을 검토하였다. 1976년 10월에 標準地所 內에서 측정한 全林木의 D²H值를 위의 相對生長式에 代入하여 Ws, Wb 및 Wl을 산출하고 이들을 合計하여 地上部現存量을 얻었다. 전술한 바와 같이 年輪의 年平均生長에서 前年の D²H를 얻고 이들을 相對生長式에 代入하여 1年前(1975年)의 現存量을 얻었다. 標準地所內의 1976年의 地上部 現存量과 1975年의 것과의 差를 1年間의 生産量 즉 年純生産性으로 간주하였다. 한편 乾燥한 圓板에서 樹皮를 제거하여 木材의 比重을 求하여 材積換算에 이용하였다.

土壤은 各 調査地所의 地表面에서 10cm 간격으로 70cm 깊이까지 層別로 sampling하여 vinyl주머니에 넣어 운반한 후 그 一部에 대하여 水分含量을 측정하고 나머지 是 陰乾하여 分析試料로 하였다. 土壤有機物은 600°C의 強熱損量으로 간주 하였고, 全窒素는 Microkjeldahl法으로 有效磷酸은 0.002N H₂SO₄로 抽出한 후 molybdophosphoric blue color法에 의하여 發色시켜 DU-Spectrophotometer로 660nm에서 比色定量 하였다.

生産構造는 伐木한 標準木을 2m의 層으로 절단하여 光合成部(葉)와 非光合成部(幹, 枝)의 層別 乾重量으로 表示하였다.

結 果

1. 生産構造

標準木 중에서 代表的인 것을 골라 生産構造圖를 작성한 結果를 Fig. 2에 표시한다. 光合成部는 地上 3.3m 높이부터 전개되어 있다. 이처럼 낮은 부분에 잎이 있는 이유는 光線이 林床까지 많이 들어갔음을 짐작하게 한다. 실제로 이 調査地의 林木은 ha당 약600本이 栽植되어 있었고, 6~9년생의 幼齡木이었으므로 各林木이 相互 被陰되지 않고 있었다. 특기할 점은 光合成部가 圓錐狀으로 되어 있지않고 Fig. 2에서 보듯이 層狀을 이루고 있었다.

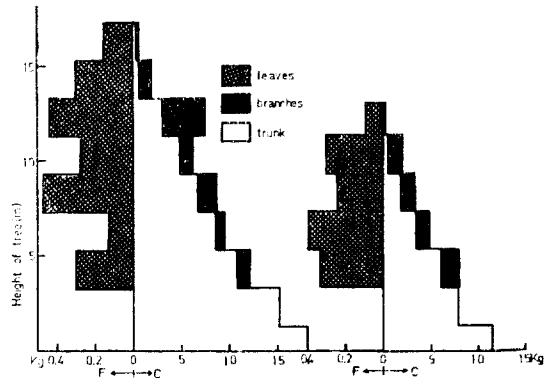


Fig. 2. The productive structure of *×P. albaglandulosa*. Left: 9 year-old plant, right: 6 year-old plant, F: photosynthetic part, C: non-photosynthetic one.

2. 胸高形數

伐木한 標準木의 胸高形數를 계산하였던 바 Fig. 3

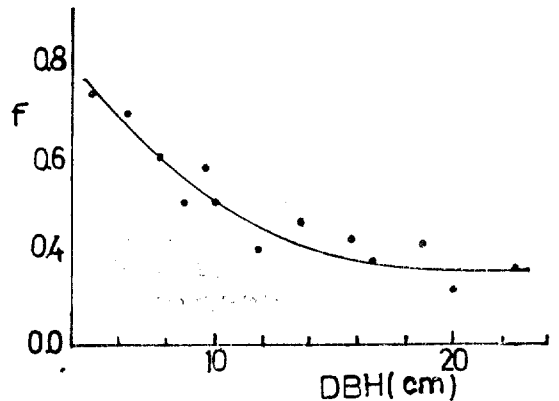


Fig. 3. Relationship between diameter of breast height (D.B.H.) and form factor (f) of *×P. albaglandulosa*.

에서 치린 흉고직경이 작은 나무는 形數가 0.73으로서 크고 그것이 커질에 따라 形數가 0.37까지 급격히 낮아졌다. 흉고직경이 20cm이상에서는 形數가 안정되는 경향을 보였다.

3. 現存量

伐木한 標準木의 D^2H , 幹重(Ws), 枝重(Wb) 및 葉重(Wl)은 Table 1과 같았으며, 이 결과에서 얻은 相對生長式은 다음과 같았다.

Table 1. Diameter of breast height (D), height (H), D^2H , and dry weight of terrestrial organs (Ws , Wb , Wl) of $\times P. albaglandulosa$ sample trees.

Diameter (D)	Height (H)	D^2H	Weight of stem (Ws)	Weight of branches (Wb)	Weight of leaves (Wl)
cm	m	cm ² ·m	kg	kg	kg
4.8	6.3	145.2	3.48	0.86	0.44
6.3	7.8	309.6	6.98	1.62	0.33
7.6	7.3	421.6	8.30	4.03	0.86
8.7	10.7	809.9	12.90	2.91	0.80
9.6	10.7	986.1	16.62	8.35	1.60
10.0	10.6	1060.0	17.74	5.51	1.60
11.8	13.0	1810.1	24.72	6.65	1.33
13.6	11.6	2145.5	32.48	14.91	1.95
15.7	13.9	3426.2	50.19	15.54	2.61
16.6	18.1	4987.6	61.99	10.63	2.19
18.7	16.8	5874.8	82.49	17.90	1.80
20.0	17.3	6920.0	78.40	23.41	4.62
22.6	17.1	8734.0	106.03	29.39	6.57

$\log Ws = 0.8280 \log(D^2H) - 1.2542 \dots\dots(2)$

$\log Wb = 0.8143 \log(D^2H) - 1.7439 \dots\dots(3)$

$\log Wl = 0.5983 \log(D^2H) - 1.7354 \dots\dots(4)$

한편 $\log D^2H \sim \log Ws$, $\sim \log Wb$ 및 $\sim \log Wl$ 관계를 兩對數方眼紙에 plot하면 Fig. 4, 5 및 6과 같다.

Fig. 4, 5 및 6에서 $\log D^2H$ 와 各 器官의 무게사이의 相關係數는 $r=0.9$ 이상으로서 直線性이 良好하였다.

앞에서 말한 相對生長式에 標準地所내의 每木調査한 D^2H 를 代入하고 그 값을 ha당으로 환산하였던 바 Table 2와 같은 結果를 얻었다. 9년생의 現存量은 Ws 가 29~35ton, Wb 가 8~10 ton 그리고 Wl 가 1.5~1.8ton/ha이었고 6년생은 Ws , Wb 및 Wl 가 각각 13, 4 및 0.9 ton/ha이었다. 同一한 9년생이라도 P-2가 P-3 地所보다 Ws 는 22~24%, Wb 는 12~20%, Wl 는 15~20% 많았다. 9년생의 地上部現存量은 P-2地所에

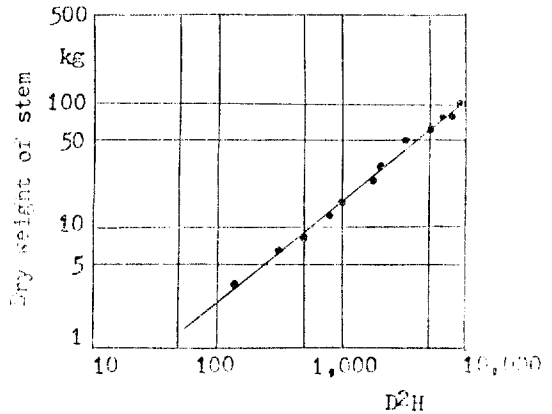


Fig. 4. Allometric relation between stem weight (Ws) and D^2H of $\times P. albaglandulosa$. This relation is approximated by Eq. (2)

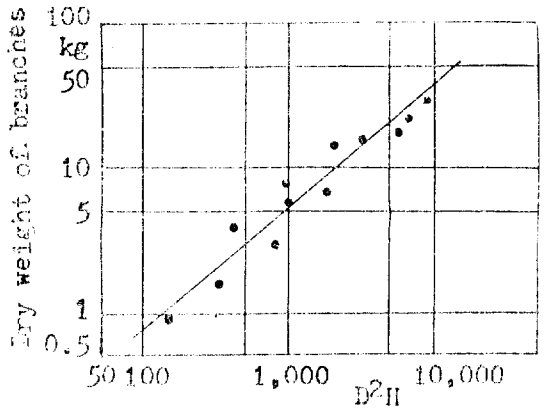


Fig. 5. Allometric relation between branches weight (Wb) and D^2H of $\times P. albaglandulosa$. This relation is approximated by Eq. (3)

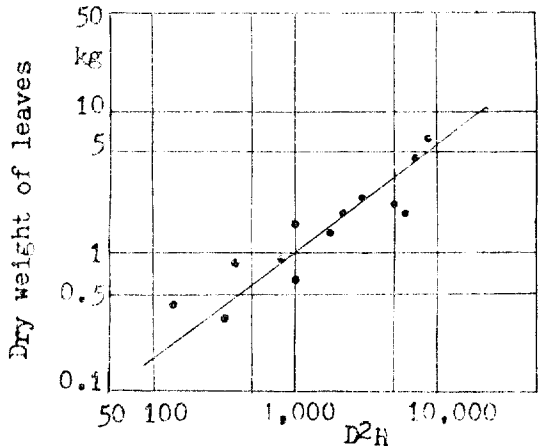


Fig. 6. Allometric relation between leaves weight (Wl) and D^2H of $\times P. albaglandulosa$. This relation is approximated by Eq. (4)

서 47 ton, P-3地所에서 39 ton/ha으로서 전자가 후자보다 22% 많았다. 그러나 P-2와 P-3地所의 栽植密度는 각각 527本과 625本/ha로서 19%의 差異가 있었다.

한국에서 소나무自然林의 地上部現存量은 39 ton/ha(金⁶⁾), 리기다 소나무 造林地의 것은 77~88 ton/ha(金⁵⁾), 리기테다소나무造林地에서는 46ton/ha(金, ⁷⁾), 참나무林과 들오리나무林은 각각 87ton과 57ton/ha(蔡 및 金¹⁾), 신갈나무林은 45~48 ton/ha(金, ^{6,7)})등을 얻었다. 外國에서 針葉樹의 예는 砂丘에 造林한 *Pinus nigra*가 68 ton/ha(wright and Will²⁰) 이었지만 이種은 適地에 심었을 경우는 165 ton/ha (Ovington¹²)이었고 *Pinus sylvestris*는 92~158ton/ha (Ovington, ^{12,13}) Ovington and Madgwick,¹⁴ Westlake¹⁵)이었고 *Pinus radiata*는 166~304 ton/ha(Will¹⁶), 활엽수의 경우는 美國의 Oak 林이 254 ton/ha(Johnson and Risser, ⁴), Nepal의 *Quercus-machilus*林은 549 ton/ha, 日本暖地의 常綠性 *Quercus-cinnamomum*林은 575ton/ha (Yoda,²¹) 등 種과 立地와 密度에 따라 多樣한 값을 보여 주었다.

乾燥木材의 比重을 측정하였던 바 은수원사시나무의 幹의 材部는 0.42이었다. 이것은 孫 및 鄭¹⁷⁾의 結果와 일치한다. 幹材積(V_s)을 얻기 위하여

$$V_s = \frac{1}{0.42} W_s$$

를 계산한 결과 各 調査地所의 材積現存量은 P-1, P-2 및 P-3地所에서 각각 31.3, 83.9 및 68.8m³/ha을 보였다.

4. 純生産量

일년간의 現存量 增加量을 年純生産量으로 간주하고 이것을 Table 2에 종합하였다. P-1地所의 6년생의 지상부 年純生産量은 4.8 ton/ha/yr, 9년생인 P-2 및 P-3地所는 각각 11.7 ton 및 10.0 ton/ha/yr이었다. 9년생은 調査地所에 따라 17% 차이가 생겼다.

한국에서 조사한 소나무自然林의 지상부 순생산량은 12.7 ton/ha/yr, 신갈나무의 것은 4.8~8.7ton/ha/yr(金^{5,6}), 상수리나무林은 15.2ton이며, 들오리나무林은 7.5ton/ha/yr(蔡 및 金¹), 리기다소나무造林地는 5.0~6.5ton, 리기테다소나무조림지는 11.6~13.4ton/ha/yr(金, ^{5,7})이었다. Kira and Shidei⁸에 의하면 溫帶地方의 落葉闊葉樹林의 純生産量은 5~30 ton/ha/yr이었고 그중에서 높은 頻度는 5~10ton/ha/yr 사이에 分布하였고, 소나무類의 것은 5~30ton/ha/yr이며 높은 頻度는 10~15ton/ha/yr에 分布하였다. Ovington^{12,13} 및 Westlake¹⁵에 의하면 *Pinus sylvestris*의 純生産量은 3~20ton/ha/yr 이었다. 이 研究에서 얻은 은수원사시

Table 2. The standing crops and annual net production at each plot of ×*P. albaglandulosa* (ton/ha)

Plot	Tree age	Organ	Standing crops		Annual net production
			1975	1976	
P-1	6	stems(W_s)	9.74	13.15	3.41
		branches(W_b)	2.90	4.08	1.18
		leaves(W_l)	0.65	0.88	0.23
		terrestrial(W_t)	13.29	18.11	4.82
P-2	9	stems(W_s)	26.39	35.24	8.85
		branches(W_b)	7.58	10.12	2.54
		leaves(W_l)	1.46	1.79	0.33
		terrestrial(W_t)	35.43	47.26	11.73
P-3	9	stems(W_s)	21.36	28.89	7.53
		branches(W_b)	6.19	8.32	2.13
		leaves(W_l)	1.21	1.55	0.34
		terrestrial(W_t)	28.76	38.76	10.00

나무의 純生産量은 6년생에서는 다른 樹種보다 적은 값을, 9년생은 높은 평균의 값을 보였다. 그런데 幹材積의 純生産量은 6년생인 P-1地所에서 8.1m³/ha/yr를, 9년생인 P-2 및 P-3地所에서 각각 21.1 및 17.9m³/ha/yr를 얻었다.

論 議

이상 論述한 結果를 調査地의 立地, 栽植密度, 現存量 및 生産性的 立場에서 살펴 보면 土壤成分 중애지 全窒素, 有機物 및 水分含量은 P-2보다 P-3地所가 많은 傾向이었지만 現存量과 生産性은 P-2가 오히려 P-3地所보다 많은 것으로 보아 이 要因들이 그 水準의 含量에서는 은수원사시나무의 生長에 뚜렷한 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 유효인산만은 表土에서 P-3이 P-2地所보다 약간 많았지만 現存量이나 生産性이 表土의 微小한 磷酸含量에 의하여 크게 영향을 받으리라고 생각되지 않았다. P-1地所의 6년생 은수원사시나무는 樹齡의 對照區가 없어서 言及하기 어렵지만 有效磷酸이 P-2 및 P-3地所보다 적었고 有機物含量도 土壤의 深層에서는 적었지만 水分含量은 많은 편이었다. 그러나 6년생의 生産性이 9년생의 1/2로 낮은 理由는 本供試木이 山地에서 光合成에 크게 영향을 받기로 根의 活着 및 發達이 되려면 植栽後 3~4年을 所要하게 되어 樹齡이 어린 탓으로 推定된다(Fig.1). 生産構造圖(Fig. 2)에서 光合成部가 圓錐形이 아니고 層狀으로 배열한 점은 은수원사시나무의 特性으로서 이리

한 특징 때문에 林床까지 많은 光量이 投入될 수 있고 또 높은 密度에도 効果的으로 光線을 받을 수 있으리라고 생각된다. 신재로 은수원사시나무는 3~4년생까지는 樹幹에 가지가 稠密하게 붙지만 適地에서 5~6년부터는 약 2m 간격으로 가지가 輪狀으로 發生하는 것이 觀察되었다.

9년생의 P-2와 P-3地所에서 現存量 또는 生産性이 22% 또는 17%의 差異가 나타난 까닭은 P-3地所가 水分, 磷酸, 有機物과 total-N 등이 P-2地所보다 多少間의 差異는 있지만 P-2地所가 運積土로 形成되어 物理的性質이 優秀한데 있는것 같다. 그리고 관찰한 바에 따르면 9년생인 P-2나 P-3地所의 植栽密度 4.5×3.7m나 4.0×4.0m는 林木의 胸高植徑15~20cm, 樹高 13~15m의 林況에서 樹冠이 서로 接하지 않았었다. 따라서 樹冠이 接할 程度로 植栽密度를 높히 준다면 研究에서 얻은 結果보다 많은 現存量과 生産性을 期待할 수 있을 것이므로 植栽密度의 研究가 要請된다.

引用文獻

1. 蔡羽仁, 金俊鎬 · 1977. 물오리나무와 상수리나무 숲의 生産力 比較. 韓國生態學會誌 1(印刷中).
2. Hebb, E. A. and R. M. Burns. 1975. Slash pine productivity and site preparation on Florida sandhill sites. USDA Forest Serv. Res. Paper. SE. 135 : 98.
3. Hozumi, K. 1963. Allometry in higher plants with special reference to the relations concerned with DBH. Seicho. 2 : 1-8.
4. Johanson, F. L. and P. G. Risser. 1974. Biomass, annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak-black jack oak forest. Ecology. 55 : 1246-1258.
5. 金俊鎬 1971. 森林의 生産構造와 生産力에 대한 연구 I. 리기다소나무造林地에 대하여. 韓植誌. 14 : 155-162.
6. —, 尹成模. 1972. Ditto. II. 春川地方의 소나무림과 신갈나무림의 比較. ibid. 15 : 71-78.
7. —, 1976. Ditto. III. 리기다소나무와 리기테다소나무의 比較. ibid. 19 : 85-91.
8. Kira, T. and Y. Shidei. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. Jap. Jour. Ecol. 17 : 70-87.
9. Kittridge, J. 1944. Estimation of amount of foliage of trees and stands. Jour. Forestry. 42 : 905-912.
10. Madgwick, H.A.I. and T. Satoo. 1975. On estimating the aboveground weights of tree stands. Ecology. 56 : 1446-1450.
11. Monsi, M. and T. Saeki. 1953. Über den Lichtfactor in den Pflanzen Gesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduction. Jap. Jour. Bot. 14 : 22-52.
12. Ovington, J.D. 1957. Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L. Ann. Bot. N. S. 21 : 287-314.
13. Ovington, J. D. 1965. Organic production, turnover and mineral cycling in woodlands. Biol. Rev. 40 : 295-336.
14. Ovington, J. D. and H.A.I. Madgwick. 1959. Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of Scots pine. For. Sci. 5 : 344-355.
15. Shidei, Y. (ed.) 1960. Studies on the productivity of the forests I. Essential needle-leaved forests of Hokkaido. Kokusaku pulp Ind. Co. p.100, Tokyo.
16. 孫斗植, 趙利明. 1966. *Populus alba* × *glandulosa* F₁의 生長에 關한 研究. 農試報. 9 : 109-116.
17. —, 鄭相培. 1972. 교잡포푸라의 성장과 비중, 林育妍報. 9 : 9-16.
18. Westlake, D. F. 1963. Comparisons of plant productivity. Biol. Rev. 38 : 385-425.
19. Will, G. M. 1964. Dry matter production and nutrient uptake by *Pinus radiata* in New Zealand. Commonwealth For. Rev. 43 : 57-70.
20. Wright, T.W. and G. M. Will. 1958. The nutrient content of Scots and Corsican pines growing on sand dunes. Forestry. 31 : 13-25.
21. Yoda, K. 1968. A preliminary survey of the forest vegetation of eastern Nepal II. Plant biomass in the sample plots chosen from different vegetation zones. J. Coll. Arts and Sci. Chiba Univ. 5 : 277-302.